2019 год

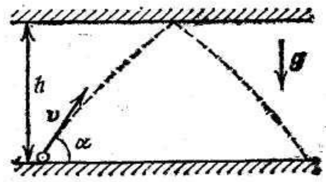
**ВСЕРОССИЙСКАЯ ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ ПО физике**
**II (МУНИЦИПАЛЬНЫЙ ЭТАП)**
**11 класс**

**Время выполнения**
**3 часа 50 минут**

**Задание 1.**

Какое расстояние по горизонтали пролетит мяч, брошенный со скоростью $v_0$ =10 м/с под углом

$\alpha$ = 60° к горизонту, если он ударится о потолок?




Высота потолка $h$ = 3 м, удар упругий.

Сопротивлением воздуха пренебречь.

**Возможное решение задания 1.**

**Решение задачи 1**

Если ввести время удара мяча в потолок $t_1$, то можем записать:

$$h = v_0 \sin\alpha \cdot t_1 - g\frac{t_1^2}{2} \quad \text{или} \quad t_1^2 - \frac{2v_0 \sin\alpha}{g} t + \frac{2h}{g} = 0$$

$$t_1 = \frac{v_0 \sin\alpha - \sqrt{v_0^2 \sin^2\alpha - 2gh}}{g}$$

Решение с «+» соответствует области снижения мяча, если бы удара о потолок не было.

Полное время движения равно $t_0 = 2t_1$

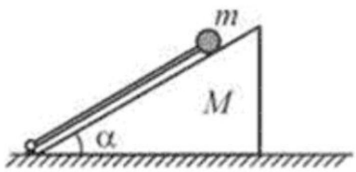
Тогда для дальности полета получим: $l = 2t_1 \cdot v_0 \cos\alpha$

$$l = \frac{2v_0^2 \cos\alpha \cdot \sin\alpha - 2v_0 \cos\alpha \sqrt{v_0^2 \sin^2\alpha - 2gh}}{g}$$

$$l = \frac{v_0^2 \sin 2\alpha}{g}\left(1 - \sqrt{1 - \frac{2gh}{v_0^2 \sin^2\alpha}}\right) = \text{ 4,8м}$$

**Задание 2.**

На горизонтальной плоскости стоит клин массой $M$ с углом при основании $\alpha=30^0$. Вдоль наклонной плоскости клина расположена лёгкая штанга, нижний конец которой укреплён в шарнире, находящемся на горизонтальной плоскости. К верхнему концу штанги прикреплён маленький шарик массой $m$, касающийся клина (см. рисунок).




Систему освобождают и она начинает движение, во время которого шарик сохраняет контакт с клином. На какой максимальный угол β штанга отклонится от горизонтали после того, как клин отъедет от неё? Трением пренебречь. Удар шарика о горизонтальную плоскость считать абсолютно упругим.

**Возможное решение задания № 2.**

Обозначим длину штанги через $l$.

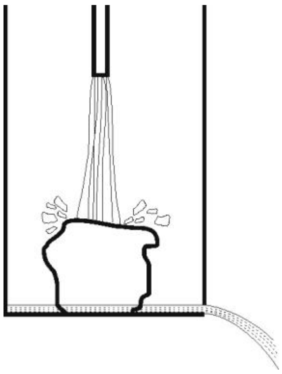
Поскольку трения нет, механическая энергия системы сохраняется. В процессе движения до удара шарика о горизонтальную плоскость потенциальная энергия шарика переходит в кинетическую энергию клина и шарика. Обозначим скорость клина в момент, когда шарик ударяется о горизонтальную поверхность, через V, а скорость шарика перед ударом – через u. Тогда закон сохранения энергии можно записать в следующем виде: $mgl\sin\alpha=\frac{MV^2}{2}+\frac{mu^2}{2}$.

Непосредственно перед ударом шарика о горизонтальную плоскость его скорость $u$ направлена перпендикулярно этой плоскости, поскольку он находится на конце штанги, другой конец которой укреплён в шарнире, находящемся на этой плоскости. За малый промежуток времени $\Delta t$ перед ударом о плоскость шарик проходит по вертикали расстояние $u\Delta t$, а клин, не теряя по условию контакта с шариком, проходит по горизонтали расстояние $V\Delta t$, и эти расстояния связаны соотношением $u\Delta t=V\Delta t\cdot\mathrm{tg}\alpha$, откуда $u=V\cdot\mathrm{tg}\alpha$, или $V=u\cdot\mathrm{ctg}\alpha$.

После абсолютно упругого удара шарика о плоскость его скорость изменит направление на противоположное, а по модулю сохранит своё значение. После этого кинетическая энергия шарика по мере подъёма штанги будет уменьшаться, переходя в потенциальную энергию, так что при максимальном отклонении штанги от горизонтали на угол β будет выполнятся соотношение, следующее из закона сохранения энергии: $mgl\sin\beta = \dfrac{mu^2}{2}$.

Из написанных уравнений имеем $mgl\sin\alpha = \dfrac{u^2}{2}(m + M\text{ctg}^2\alpha)$, $u^2 = \dfrac{2mgl\sin\alpha}{m + M\text{ctg}^2\alpha}$, поэтому угол максимального отклонения штанги после удара шарика о плоскость определяется из следующего соотношения: $\sin\beta = \dfrac{2\,mgl\sin\alpha}{2gl(m+M\text{ctg}^2\alpha)} = \dfrac{m\cdot 0{,}5}{m+M\cdot 3} = \dfrac{m}{2m+6M}$

**Задание № 3.**



Имеется сосуд с небольшим отверстием у дна. В сосуд помещен большой кусок кристаллического льда при температуре $T_0 = 0°C$. Сверху на лед падает струя воды, ее температура $T_1 = 20°C$, а расход $q = 1$ г/с. Найдите расход воды, вытекающей из сосуда, если ее температура $T = 3°C$. Теплообменом с окружающим воздухом и с сосудом можно пренебречь. Удельная теплоемкость воды c=4200 $\dfrac{\text{Дж}}{\text{кг°C}}$ удельная теплота плавления льда λ =3,4·10$^5\dfrac{\text{Дж}}{\text{кг}}$. Вода в сосуде не накапливается.

**Возможное решение задания № 3.**

За время $\Delta t$ в сосуд втекает масса воды $\Delta m = q\Delta t$, имеющей температуру $T_1$. Она плавит лед и нагревает получившуюся воду до температуры $T$. Втекающая вода отдает количество тепла $Q_1 = C\Delta m(T_1 - T) = Cq\Delta t(T_1 - T)$, а при плавлении льда и нагревании получившейся воды поглощается количество тепла $Q_2 = \lambda\Delta m_1 + C\Delta m_1(T - T_0)$ ,где $\Delta m_1$ - масса растаявшего за время $\Delta t$ льда. Из уравнения теплового баланса следует, что $Q_1 = Q_2$, откуда

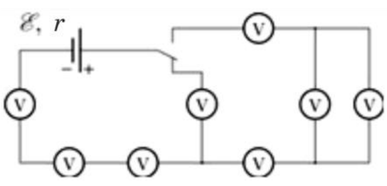
$$\Delta m_1 = \frac{Cq\Delta t(T_1 - T)}{\lambda + C(T - T_0)}.$$

Из сосуда за время $\Delta t$ вытекает вода, которая в него за это время втекла, и, дополнительно, вода, получившаяся при плавлении льда. Следовательно, расход вытекающей из сосуда воды равен

$$q' = \frac{\Delta m + \Delta m_1}{\Delta t} = q\left(1 + \frac{T_1 - T}{T - T_0 + \lambda / C}\right) \approx 1,2 \text{ г/с}.$$

**Задание 4.**

На рисунке представлена схема, состоящая из вольтметров и источника тока. Все вольтметры одинаковы и имеют сопротивление $r$, равное внутреннему сопротивлению источника. Определите, на сколько процентов изменится сумма показаний всех вольтметров в цепи, схема которой приведена на рисунке, если перевести переключатель из нижнего положения в верхнее положение.




**Возможное решение задания № 4.**

В нижнем положении переключателя сила тока, проходящего через источник, равна $I_1 = \frac{\varepsilon}{5r}$. Суммарные показания всех 4 вольтметров, которые в этом случае включены в схему $U_1 = 4I_1 r = \frac{4\varepsilon}{5}$. В верхнем положении сила тока, текущего через источник равна $I_2 = \frac{\varepsilon}{6{,}5r}$. Два параллельных вольтметра показывают напряжение вдвое меньше остальных, так как через них течет вдвое меньший ток. Суммарные показания вольтметров $U_2 = 5I_2 r + 2\frac{I_2 r}{2} = \frac{12\varepsilon}{13}$. Отношение суммарных показаний составит $\frac{U_2}{U_1} = \frac{15}{13} = 1{,}15$. Суммарные показания увеличились на 15%.

**Задание 5.**

Определить плотность металла, находящегося в одном из двух кусков пластилина.

Известно, что массы пластилина в обоих кусках одинаковы. Извлекать металл из пластилина не разрешается.
Оборудование: электронные весы (или рычажные с разновесами, к которым необходим штатив), стакан с водой, два куска пластилина одинаковой массы, металлическое тело, (находится в одном из кусков пластилина), нить.

Примечание: линейкой пользоваться нельзя.

**Возможное решение задания 5.**

Найдем массу стакана с водой взвешиванием. Пусть она равна $m_{\text{ст}}$. Точно так же найдем массу куска пластилина без металла $m_1$ и массу куска пластилина с металлом $m_2$. Так как массы в обоих кусках пластилина одинаковы, то масса металла $m = m_2 - m_1$.

Теперь подвесим кусок пластилина без металла на нить и прикрепим к штативу свободный конец нити. Опустим этот кусок пластилина в стакан с водой так, чтобы он полностью в нее погрузился, и найдем показания весов в этом случае. Пусть масса гирек равна $m_1^/$, тогда вес стакана с опущенным в него пластилином, подвешенным на нити к штативу, будет равен$P_1 = m_1^/ g$.

Архимедова сила, действующая на пластилин:

$$F_A = m_1^/ g - m_{\text{ст}} g. \ (1)$$

Так как согласно закону Архимеда $F_A = \rho_{\text{в}} g V_1$, то, используя выражение (1), нетрудно найти объем пластилина$V_1 = (m_1^/ - m_{\text{ст}})/\rho_{\text{в}}$. (2)

Точно так же найдем объем пластилина с металлом внутри:$V_2 = (m_2^/ - m_{\text{ст}})/\rho_{\text{в}}$. (3)

где $m_2$ – масса гирь, уравновешивающих стакан с водой и погруженным в него пластилином с металлом внутри. Объем металла $V = V_2 - V_1$.

С учетом выражений (2) и (3) получим :$V = (m_2^/ - m_1^/)/\rho_{\text{в}}$. (4)

Так как $m = m_2 - m_1$, а плотность металла $\rho = m/V$, то воспользовавшись выражением (4), получим

$$\rho = (m_2 - m_1)\rho_{\text{в}}/(m_2^/ - m_1^/).$$